

# OPTICAL DIFFRACTION DEVICE AND OPTICAL MULTIPLEX- DEMULTIPLEXER USING THE SAME

Patent number: JP2001091717

Publication date: 2001-04-06

Inventor: MIYAZAKI HIDEKI; SATO TOMOMASA

Applicant: JAPAN SCIENCE & TECH CORP

Classification:

- International: G02B5/18; G02B6/293; G02B5/18; G02B6/293; (IPC1-7): G02B5/18; G02B6/293

- european:

Application number: JP19990269779 19990924

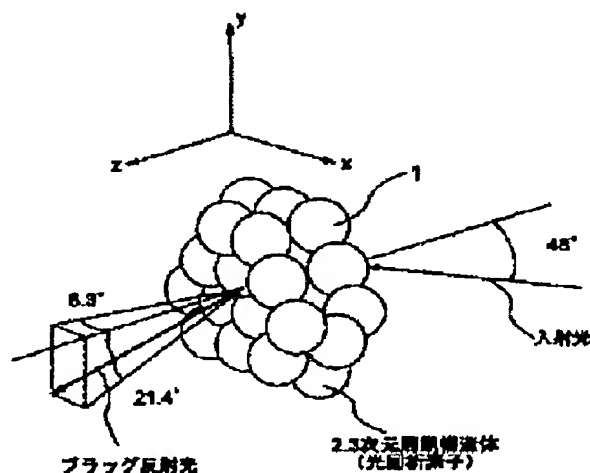
Priority number(s): JP19990269779 19990924

Report a data error here

## Abstract of JP2001091717

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical diffraction element which selects the wavelength of light or changes the propagation direction by using resonant Bragg reflection.

**SOLUTION:** The optical diffraction device has features that it has a three-dimensional periodical structure produced by depositing minute spheres and that it uses resonant Bragg reflection caused when conditions for Mie resonance by each sphere of the aforementioned minute spheres and Bragg conditions by the periodical structure of the three-dimensional periodical structure are satisfied in terms of the specified wavelength of the incident light.



Data supplied from the [esp@canet](mailto:esp@canet) database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-91717  
(P2001-91717A)

(43) 公開日 平成13年4月6日 (2001.4.6)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	ページ・ト (参考)
G 0 2 B	5/18	G 0 2 B	2 H 0 3 7
	6/293		2 H 0 4 9
	6/34		D

審査請求 本請求 請求項の数 7 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平11-269779

(22) 出願日 平成11年9月24日 (1999.9.24)

(71) 出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72) 発明者 宮崎 英樹

茨城県つくば市並木4-1-420-505

(72) 発明者 佐藤 知正

千葉県我孫子市つくし野2-16-7

(74) 代理人 100099265

弁理士 長瀬 成城

Fターム (参考) 2B037 CA33

2B049 AA06 AA43 AA44 AA45 AA50

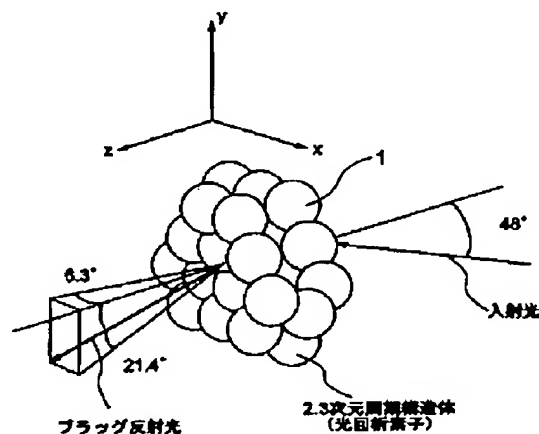
AA59 AA65

(54) 【発明の名称】 光回折素子とそれを用いた光合分波器

(57) 【要約】

【課題】 共鳴的なブラッグ反射現象を利用することにより、光の波長を選別したり進行方向を変化させたりする光回折素子を提供する。

【解決手段】 微小な球を積層して製作した三次元周期構造体において、入射した光の特定の波長に対して、前記微小球の個々の球によるミー共鳴条件と、前記3次元周期構造体の周期構造によるブラッグ条件が成立することによって生じる共鳴的なブラッグ反射を利用することを特徴とする光回折素子。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】微小な球を積層して製作した三次元周期構造体において、入射した光の特定の波長に対して、前記微小球の個々の球によるミー共鳴条件と、前記三次元周期構造体の周期構造によるブラッグ条件が成立することによって生じる共鳴的なブラッグ反射を利用することを特徴とする光回折素子。

【請求項2】前記三次元周期構造体は微小球を最密格子状に積層したものであることを特徴とする請求項1に記載の光回折素子。

【請求項3】前記ブラッグ反射を起こす結晶面が〔222〕乃至は〔111〕乃至は〔022〕結晶面であることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の光回折素子。

【請求項4】前記微小球の直径が0.1 $\mu$ mから10 $\mu$ mの範囲であることを特徴とする請求項1～請求項3のいずれかに記載の光回折素子。

【請求項5】前記微小球がポリスチレン乃至はポリビニルトルエン乃至はシリカ乃至は酸化チタン乃至はガラスであることを特徴とする請求項1～請求項4のいずれかに記載の光回折素子。

【請求項6】複数の波長からなる波長多重光に新たに特定の波長の光を加える光合波器、乃至は波長多重光から特定の波長の光を取り出す光分波器において、光合分波器素子として前記請求項1～請求項5のいずれかに記載の光回折素子を用いることを特徴とする光合分波器。

【請求項7】複数の光の合波、分波を請求項1～請求項5のいずれかに記載の光回折素子を共有して実現することを特徴とする請求項6に記載の光合分波器。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、0.1～10 $\mu$ mの微小な球を積層して製作した三次元周期構造体において観察される、共鳴的なブラッグ反射現象を利用することにより、光の波長を選別したり進行方向を変化させたりする光回折素子、および、その光回折素子を用いることにより、波長多重通信技術において特定の波長の光を取り出したり挿入したりするために用いられる光合分波器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、光の波長を選別したり進行方向を変化させる光回折格子としては、反射性あるいは透過性の基板の表面に周期的な溝を刻んだ回折格子や、複雑な周期的な微細構造を表面に刻んだホログラフィック光学素子が用いられてきた。また光の波長を周期構造の作用により選別する機能だけを持つ広義の光回折格子としてはこのほかにも光ファイバに屈折率の周期構造を設けたファイバグレーティングや、基板表面に複数の薄膜を積層した誘電体多層膜ミラーが用いられてきた。

【0003】またいっそうの大容量化、低コスト化、高

(2)

特開2001-91717

2

信頼化が必要とされる波長多重光通信技術においてはこれらの素子を組み合わせることにより特定の波長の光を取り出したり挿入したりするような二個の光サーキュレータとファイバグレーティングを用いた光合分波器が有望視されている。

【0004】従来の光合分波器を図5を参照して説明すると、図5は典型的な光合分波器であり、この光合分波器は波長 $\lambda_i$ の光を多重信号の中から取り出したり挿入したりする機能を実現するものである。この光合分波器において、光サーキュレータ100は三つの光の入出力ポートをもち、ファラデー効果を利用して行きと帰りでは光が出力されるポートが異なるものである。入力ポート101に入射した波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ のN多重光信号は光サーキュレータ100を直進してファイバグレーティング104に入射する。このグレーティング104が $\lambda_i$ の波長に対して反射するように製作されていると $\lambda_i$ だけ光サーキュレータ100に戻る。光サーキュレータ100では戻ってきた光は今度は別のポート102に向けて出力する。こうして分波ポート102に入 $\lambda_i$ だけ選別されて出力される。一方ファイバグレーティング104で反射されなかった残りの波長の信号は二つめの光サーキュレータ110を直進し、出力ポート113から出力される。この光合分波器で $\lambda_i$ の光を合波したい場合には、合波ポート112にその波長の光を入射すると、光サーキュレータ110によりまずファイバグレーティング104に向けて出射され、グレーティング104で反射されて戻ってきた $\lambda_i$ はそのまま他の波長の光と一緒に出力ポート113から出力される。このほかにも先に挙げた回折格子やホログラフィック光学素子、誘電体多層膜ミラーをファイバグレーティングの代わりに用いたものが多数提案されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、従来用いられてきた光回折格子はいずれも光の波長オクタの微細構造によって光を制御するものであるが素子の外形はいずれも数mm角の大きなものであった。ファイバグレーティングは直径が100 $\mu$ m程度と細いものの、屈折率のコントラストが小さいために長さ方向には多くの周期が必要でやはり数mmかそれ以上の長さが不可欠である。また図5で示した光の進行方向を制御する素子である光サーキュレータも数mm角かそれ以上の大きさを持ち、これらを組み合わせて実現する光合分波器となると、cm単位の大きさを持ったものであった。またひとつの光回折格子素子がひとつの波長に対してしか動作しないので、一つの光合分波器に多くの波長に対応する機能を集積化することができず、一つ一つの波長に対してその大きな光合分波器を用意する必要があった。

【0006】そこで、本発明は10～100 $\mu$ m角の微細な素子で波長の選別と偏向の機能を同時に実現し、コンパクトでなおかつ別々の波長に対しての機能を集積化

3

できる光回折素子および光合分波器を提供することにより、上記問題点を解決することを目的とする。本発明では直径0.1~10 $\mu\text{m}$ の微小な球を積層して製作した三次元周期構造体において観察される、個々の球のミー共鳴条件と周期系のブラッグ条件が両立することによって生じる共鳴的なブラッグ反射現象を光回折格子の動作原理として用いる。またこの素子を、波長を選別し、かつ進行方向を変化させる機能を実現する素子として用いることによりコンパクトな光合分波器の実現を可能にする。さらにこの光回折格子が入射角の異なる光線に対しては別の波長を取り出す働きをもつことを利用して、複数の光の合波、分波を一つの光回折素子を共有して実現することにより、複数の波長の光に対して動作する光合分波器を提供する。

【0007】

【課題を解決するための手段】このため、本発明が採用した技術解決手段は、微小な球を積層して製作した三次元周期構造体において、入射した光の特定の波長に対して、前記微小球の個々の球によるミー共鳴条件と、前記三次元周期構造体の周期構造によるブラッグ条件が成立することによって生じる共鳴的なブラッグ反射を利用することを特徴とする光回折素子であり、前記三次元周期構造体は微小球を最密格子状に積層したものであることを特徴とする光回折素子であり、前記ブラッグ反射を起こす結晶面が(222)乃至は(111)乃至は(022)結晶面であることを特徴とする光回折素子であり、前記微小球の直径が0.1 $\mu\text{m}$ から10 $\mu\text{m}$ の範囲であることを特徴とする光回折素子であり、前記微小球がポリスチレン乃至はポリビニルトルエン乃至はシリカ乃至は酸化チタン乃至はガラスであることを特徴とする光回折素子であり、複数の波長からなる波長多重光に新たに特定の波長の光を加える光合分波器、乃至は波長多重光から特定の波長の光を取り出す光分波器において、光合分波器素子として前述の光回折素子を用いることを特徴とする光合分波器であり、複数の光の合波、分波を前述の光回折素子を共有して実現することを特徴とする光合分波器である。

【0008】

【発明の実施の形態】図面を参照して本発明に係る光回折素子および光合分波器について説明すると、図1は共鳴的なブラッグ反射特性を示す実験の構成図、図2は観察された共鳴的なブラッグ反射特性の例を示す図、図3は本発明に係る光回折素子を利用した光合分波器の実現例を示す図、図4は複数の波長に対する光合成分波器の実現例を示す図である。

【0009】まず共鳴的なブラッグ反射の効果について実験をおこなった結果について説明する。図1に示すように直径2.0 $\mu\text{m}$ のポリビニルトルエンからなる微小球1(屈折率1.58)の2層の最密格子状に積層した三次元周期構造体を走査電子顕微鏡観察下でのマイクロ

(3)

特開2001-91717

4

マニピュレーションにより製作した。なお、前記微小球の直径は0.1 $\mu\text{m}$ から10 $\mu\text{m}$ の範囲内のもの、また材質としてはポリスチレン乃至はポリビニルトルエン乃至はシリカ乃至は酸化チタン乃至はガラスなど、その他同様の機能をもつ材質を使用したものを採用することも可能であり、さらに微小球の積層数も2層に限定することなく、多層とすることも可能である。図1のように三次元周期構造体2の各面がXY面に一致し、X軸が一つの最密配列軸に一致し、Z軸はこれらに垂直になるように座標系を定める。この結晶に波長0.633 $\mu\text{m}$ のレーザ光を入射する。その入射角はZ軸に対してX軸方向に-48°傾斜した方向とする。このとき、この波長でこの角度で入射する光は(-2, 2, -2)面に対するブラッグ条件を満たすため、入射光はZ軸に対してX軸方向に-6.3°、Y軸方向に-21.4°の方向に回折(ブラッグ反射)される。ブラッグ反射は様々な結晶面に対して発生するが、中でもこの入射条件で生じるブラッグ反射は他の面による反射に比べて一桁大きな回折効率をもっている。これは1個1個の球におけるミー共鳴が同時に起こっているためである。

【0010】ミー共鳴の効果は次のようにして知ることができる。現在の入射角48°を中心に入射角 $\pm 12^\circ$ の範囲で変化させた。このとき、この回折スポット(入射角の変化とともにこれも向きが変化する)の明るさの変化を調べた結果が図2である。図2の細線のカーブは、ブラッグ条件のみによる回折光強度を示す。ところが、実際に観察されたカーブは、これよりも一桁以上明るく、かつ鋭いピークを示す。これは即ち、個々の球での鋭いミー共鳴がブラッグ条件と同時に満足されたために生じたものである。現在ミー共鳴とブラッグ共鳴を同時に満足する条件がどのような数式に従って変化するかは判っていないがこのような実験によって経験的な関係を知ることではある。ミー条件は実験では、他に(2, -2, -2)面、(0, -2, -2)面、(-2, 0, -2)面、(-1, -1, -1)面でも同様の条件が満たされることがわかった。ミー共鳴条件は一般に非常に厳しく、この例の球径と波長の関係では共鳴の鋭さを示すQ値は理論的には100程度の大きなものである。従って、わずかの波長の変化に対してミー条件は急激に満たされなくなり、他の波長(例えばQ=100の場合には3nm程度異なる波長)では、このピークは発生しなくなる。このことからこのような微小球で構成された三次元周期構造体には、特定の入射角で、特定の波長の光を入射したときにだけ、特定の方向に光が偏向されて出力され、この周期構造体は特異な光回折素子として機能することが判る。

【0011】次にこの光回折素子2を用いて、波長多重光に異なる波長の光を加えたり、波長多重光から特定の波長の光を取り出す光合分波器を構成した実施形態を図3に示す。光ファイバ3で構成される入力ポートには波

50

(4)

特開2001-91717

5

6

長さ $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の $N$ 多重光信号が入射する。これらの光は  
 コリメータレンズ4により平行光束となる。光合成分波  
 5の中央には光回折素子2が固定されているが、これは  
 取り出したい波長 $\lambda_i$ の光に対してちょうど共鳴的ブラ  
 ッグ反射条件を満たすような角度で固定されている。 $\lambda_i$   
 の光がブラッグ反射される方向にはコリメータレンズ  
 6と光ファイバ7が設置されており、この光ファイバ7  
 が分波ポートとなる。一方光回折素子で反射されること  
 なくそのまま透過したその他の波長の光は、入力ポート  
 と対向して設置されたコリメータレンズ8を経て出力ポ  
 ートを構成する光ファイバ9に入射する。分波ポート  
 と対向する位置には、合波ポートのコリメータレンズ1  
 0と光ファイバ11とが設置されている。合波ポートか  
 ら $\lambda_i$ の光を入射すると、これも共鳴的ブラッグ条件を  
 満たすので、光は光回折素子2で反射され、出力ポート  
 に向かうその他の波長の光と重ね合わされる。こうし  
 て、共鳴的ブラッグ反射を利用した光回折素子2と4組  
 の光ファイバ、コリメータレンズだけで光合成分波器5が  
 簡便に、またコンパクトに少ない部品点数で実現でき  
 る。これは光回折素子2が光の波長の選別と光の進行方  
 向の制御の二つの機能を同時に満足しているために可能  
 となっている。また球1の鋭いミ共鳴を利用している  
 ため、十分に強い回折が $10 \sim 100 \mu\text{m}$ 角程度の微小  
 な素子でも実現できる。

【0012】次に二つの波長に対する光合成分波器を一つ  
 の光回折素子で共有するように集積化された実施形態を  
 図4に示す。この光合成分波器22の中央に設けられた光  
 回折素子21では、異なる方向から入射する光に対して  
 は別の波長の光で別の方向に出射するような共鳴的なブ  
 ラッグ反射条件を見いだすことができる。この実施形態  
 では、光ファイバ23で構成される入力ポートにスター  
 カブラ24を設けて光を2本の光ファイバ26a、26  
 bに半分ずつに分けコリメータレンズ25の焦点面の別  
 々の位置に光ファイバ26a、26b端面を設置すること  
 によって光回折素子21への入射角度を変えている。  
 対向する出力ポート側も同様にコリメータレンズ27と  
 2本の光ファイバ28a、28bを設置し、最後にスター  
 カブラで29一本のファイバ30にまとめれば、それ  
 ぞれの角度で入射した光の内、直進したものはそのまま  
 出力ポートを構成する光ファイバ30に出力される。一  
 方入射角度の光束は波長 $\lambda_i$ に対して、もう一方は波  
 長 $\lambda_j$ に対して共鳴的ブラッグ反射条件を満たすとす  
 る。図3と同様に $\lambda_i$ が反射される方向に分波ポートの  
 コリメータレンズ32と光ファイバ33を、それに対向  
 する位置に合波ポートのコリメータレンズ34と光ファ  
 イバ35を設置する。同様に $\lambda_j$ の光が反射される方向

にもコリメータレンズ36と光ファイバ37からなる分  
 波ポートを、それに対向する位置に合波ポートのコリメ  
 ータレンズ38と光ファイバ39を設置する。この構成  
 では図3の1チャンネル用の光合成分波器とはほぼ同様のス  
 ペースで $\lambda_i$ 、 $\lambda_j$ の二つの波長に対する合波、分波機  
 能を実現することができる。3波長以上の集積化も同様  
 に可能である。

【0013】以上、本発明の実施形態について説明して  
 きたが、本発明はその精神また主要な特徴から逸脱する  
 ことなく、他の色々な形で実施することができる。その  
 ため前述の実施形態は単なる例示に過ぎず、限定的に解  
 釈してはならない。更に特許請求の範囲の均等範囲に属  
 する変形や変更は全て本発明の範囲内のものである。

【0014】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明によ  
 れば、 $10 \sim 100 \mu\text{m}$ 角の微細な寸法で、光の波長の  
 選別と偏向の機能を併せ持った高機能光回折素子を実現  
 できる。これまで素子が大きいためにどうしても小型化  
 が困難だった波長多重光通信用の光合成分波器がコンパ  
 クトに実現できる。少ない部品点数で実現できることは、  
 価格の低減だけでなく、信頼性の向上、維持コストの低  
 減にもつながる。いくつかの波長の出し入れを行う光合  
 成分波器を一台にまとめることができ、さらにコンパクト  
 性、低価格性、高信頼性をはかることができる、等の優  
 れた効果を奏することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】共鳴的なブラッグ反射特性を示す実験の構成図  
 である。

【図2】観察された共鳴的なブラッグ反射特性の例を示  
 す図である。

【図3】本発明に係る光回折素子を利用した光合成分波  
 器の実現例を示す図である。

【図4】複数の波長に対する光合成分波器の実現例を示  
 す図である。

【図5】従来の典型的な光合成分波器の説明図である。

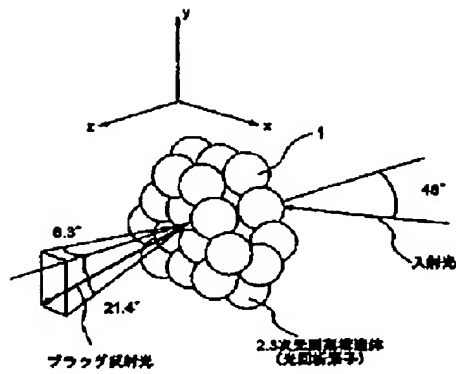
【符号の説明】

- |                                       |          |
|---------------------------------------|----------|
| 1                                     | 微小球      |
| 2                                     | 3次元周期構造体 |
| 3、7、9、11                              | 光ファイバ    |
| 4、6、8、10                              | コリメータレンズ |
| 5、22                                  | 光合成分波器   |
| 23、26a、26b、28a、28b、30、33、<br>35、37、39 | 光ファイバ    |
| 25、32、34、36、38                        | コリメータレンズ |
| 24、29                                 | スターカブラ   |

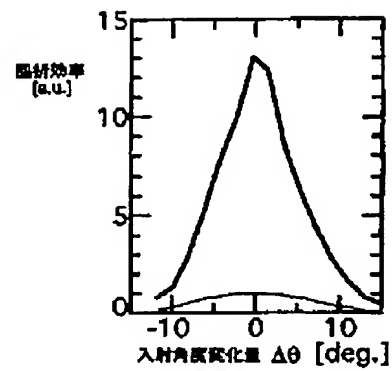
(5)

特開2001-91717

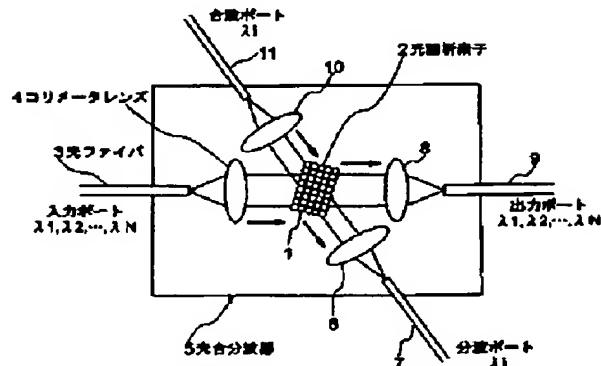
【図1】



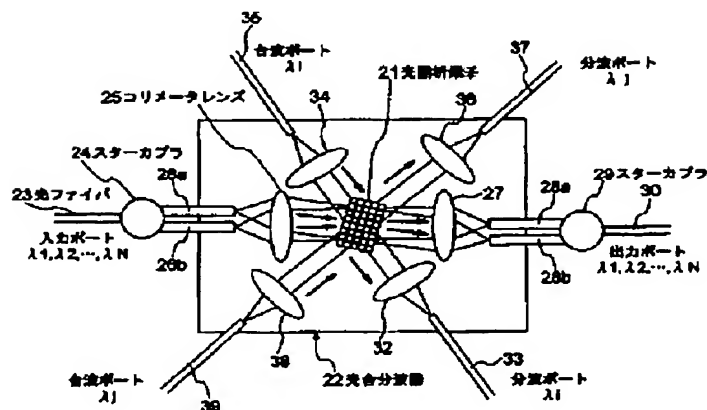
【図2】



【図3】



【図4】



(6)

特開2001-91717

【図5】

